

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛОКАЛЬНО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЗОН МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ

Хмелев А.А., Реут Л.Е.

УО «Белорусский национальный технический университет», Минск

При текущем контроле состояния конструкций, а также при проведении исследований в аварийных ситуациях незаменимым методом для оценки состояния металла и его механических свойств является измерение твердости.

В настоящей статье предлагается метод, позволяющий по измерению твердости производить оценку пластичности металла эксплуатируемых конструкций, т.е. устанавливать уровень накопленной пластической деформации и определять запас оставшейся пластичности в материале. Этот метод является важным и может иметь большое практическое значение для выявления и оценки состояния локально деформированных зон конструкций, которые возникают в результате некоторых операций технологической обработки металлов, как например, холодная гибка или сварка. Эти зоны представляют потенциальную опасность для конструкции, так как имеют повышенную твердость по сравнению с твердостью исходного металла и могут являться источниками возникновения трещин. Оценка состояния локально деформированных зон основана на взаимосвязи между твердостью материала и его пластичностью, в соответствии с которой при пластическом деформировании твердость стали возрастает от значения HB_0 в состоянии поставки до максимального значения HB_{max} на поверхности разрушения, в то время как ее пластичность в указанном диапазоне изменения твердости соответственно снижается от максимального значения в состоянии поставки до нулевого – на поверхности разрушения.

Предлагаемый авторами метод позволяет через определение твердости, измеренной в локально деформированных зонах конструкции, устанавливать уровень накопленной и оставшейся пластичности, прогнозируя тем самым возможное трещинообразование и разрушение металла. Для измерения твердости в этих случаях предлагается использование портативных приборов типа ТПЦ-4, позволяющих производить замеры и определять значение твердости между точками, лежащими на расстоянии 1–2 мм. Поскольку в локально деформированных зонах распределение твердости имеет пиковый характер и ширина вершины пика, которая соответствует максимальному значению твердости, составляет величину такого же порядка (1–2 мм), то именно указанные приборы способны выявить изменения твердости на таких малых расстояниях.

Предложенный метод оценки пластичности позволяет определять ее значение по двум основным характеристикам – относительному удлинению ϵ и относительному сужению ψ . При этом за основу берутся исходные сертификатные характеристики механических свойств стали в состоянии поставки – предел прочности σ_B материала и относительное удлинение ϵ , а значение ψ , если оно не приведено в сертификатных данных, определяют расчетным путем.

Как известно из работы [1], максимальная твердость в общем случае определяется как:

$$HB_{max} = HB_0 e^{\psi} \quad (1)$$

где HB_0 и ψ – твердость по Бринеллю и относительное сужение стали в состоянии поставки соответственно.

Значение HB_0 определяем по взаимосвязи твердости с пределом прочности [2]:

$$HB_0 = \frac{\sigma_B}{c}, \quad (2)$$

где $c = (0,36 \div 0,365)$ для малоуглеродистых и низколегированных сталей.

Определим расчетным путем относительное сужение ψ по твердости по Бринеллю для случая, когда ψ не входит в сертификатные данные.

Как известно, твердость HB определяется делением силы F , задаваемой прессом Бринелля, на площадь поверхности сферического отпечатка, оставляемого вдавливаемым шариком диаметром D :

$$HB = \frac{F}{\pi D \cdot h} = \frac{2F}{\pi D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}. \quad (3)$$

Тогда на основании формулы (3) глубина отпечатка h_0 и диаметр отпечатка d_0 для твердости HB_0 , вычисленной через предел прочности (2), можно определить как:

$$HB_0 = \frac{F}{\pi D \cdot h_0} \rightarrow h_0 = \frac{F}{\pi D \cdot HB_0} \quad (4)$$

$$d_0 = 2\sqrt{h_0 (D - h_0)}. \quad (5)$$

Минимальный диаметр отпечатка d_{\min} , соответствующий максимальному значению твердости HB_{\max} , определяем через вычисленное d_0 (5) и сертификатное значение относительного удлинения e :

$$d_{\min} = \frac{d_0}{e^{\frac{1}{\varepsilon}}}, \quad (6)$$

а величину максимальной твердости HB_{\max} в соответствии с (3) и (6) вычисляем как:

$$HB_{\max} = \frac{F}{\pi D \cdot h_{\min}} = \frac{2F}{\pi D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d_{\min}^2} \right)}. \quad (7)$$

Тогда относительное сужение на основании формул (1), (4) и (7) равно:

$$\psi = \ln \frac{HB_{\max}}{HB_0} = \ln \frac{h_0}{h_{\min}}. \quad (8)$$

Приведенные выше теоретические расчеты можно использовать для вычисления величины предварительной пластической деформации, возникающей в результате технологической обработки металла и определяемой уровнем его пластического повреждения. Для этого необходимо с помощью прибора ТПЦ-4 произвести замер диаметра d_k и глубины h_k отпечатка в исследуемой пластически деформированной зоне и тогда на основании формул (6) и (8) получаем:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \ln \frac{d_0}{d_k} \quad (9)$$

$$\psi_{\text{пр}} = \ln \frac{h_0}{h_k}. \quad (10)$$

Соответственно оставшийся запас пластичности определится как:

$$\varepsilon_{\text{ост}} = \varepsilon - \varepsilon_{\text{пр}} \quad (11)$$

$$\psi_{\text{ост}} = \psi - \psi_{\text{пр}}. \quad (12)$$

Если уровень предварительной пластической деформации достигает значений $\varepsilon_{\text{пр}} = (0,19 \div 0,20)$, это соответствует окончанию равномерной деформации при растяжении стандартного образца при испытании на растяжение и началу образованию в нем шейки, а в реальных конструкциях при указанных значениях $\varepsilon_{\text{пр}}$ возникают внутренние микро- и макротрещины. В конечном итоге, указанные трещины под действием рабочих напряжений становятся сквозными, и это особенно заметно в конструкциях, работающих в условиях усталостного режима. При снижении температуры твердость металла повышается, что соответственно снижает его пластичность и трещиностойкость.

Резюме

Предложенный метод позволяет оценивать пластичность и трещиностойкости металла локально деформированных зон металлических конструкций при их освидетельствовании или экспертизе при определении остаточного срока службы. Метод отличается простотой исполнения, экономичностью и высокой достоверностью результатов исследования.

Литература

1. Хмелев А.А., Реут Л.Е. Расширение возможностей оценки качества сталей по результатам исследования на ударную вязкость. / Весці НАН Беларусі. – 2009. – № 2. – с. 71-75.
2. Марковец П.М. Определение механических свойств металлов по твердости. – М.: Машиностроение, 1979. – 85с.

Summary

The offered method allows to estimate plasticity and crack resistance of metal of locally deformed zones of metal designs at their survey or examination at definition of residual service life. The method differs simplicity of execution, profitability and high reliability of results of research.

Поступила в редакцию 26.09.2012